



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115586653 A

(43) 申请公布日 2023.01.10

(21) 申请号 202211234892.2

G02B 27/00 (2006.01)

(22) 申请日 2017.12.21

G02B 27/10 (2006.01)

(30) 优先权数据

G02B 27/42 (2006.01)

62/438,315 2016.12.22 US

G02B 27/44 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

G02B 5/18 (2006.01)

201780079729.4 2017.12.21

G02B 6/293 (2006.01)

F21V 8/00 (2006.01)

(71) 申请人 奇跃公司

地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 I · L · C · 杨 L · E · 埃德温

H-C · 程

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

专利代理人 贺月娇 于静

(51) Int.Cl.

G02B 27/01 (2006.01)

权利要求书5页 说明书12页 附图20页

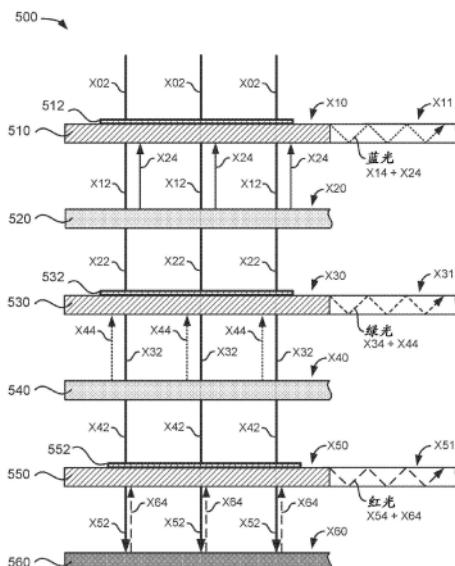
(54) 发明名称

一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目

镜

(57) 摘要

本公开涉及一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜。用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜包括被定位于第一横向平面中的第一平面波导，被定位于与第一横向平面相邻的第二横向平面中的第二平面波导，以及被定位于与第二横向平面相邻的第三横向平面中的第三平面波导。第一波导包括与其耦合并被设置在横向位置处的第一衍射光学元件(DOE)。第二波导包括与其耦合并被设置在横向位置处的第二DOE。第三波导包括与其耦合并被设置在横向位置处的第三DOE。目镜进一步包括在横向位置处被设置在第一波导与第二波导之间的第一光学滤波器，以及在横向位置处被定位于第二波导与第三波导之间的第二光学滤波器。



1. 一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜,所述目镜包括:

第一平面波导,其被定位于第一横向平面中,其中,所述第一波导包括与其光学耦合的第一耦入元件,并且其中,所述第一耦入元件被配置为衍射以第一波长为中心的第一波长范围内的图像光;

第二平面波导,其被定位于与所述第一横向平面相邻的第二横向平面中,其中,所述第二波导包括与其光学耦合的第二耦入元件,并且其中,所述第二耦入元件被配置为衍射以与所述第一波长不同的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光;以及

第一光学元件,其被与所述第一耦入元件横向对齐地定位于所述第一波导与所述第二波导之间,其中,所述第一光学元件被配置为反射所述第一波长范围内的图像光。

2. 根据权利要求1所述的目镜,其中,所述第一波导包括第一表面和与所述第一表面相反的第二表面,所述第二波导包括第一表面和与所述第一表面相反的第二表面,其中,所述第二波导的所述第一表面面向所述第一波导的所述第二表面。

3. 根据权利要求2所述的目镜,其中,所述第一耦入元件被设置在与所述第二波导的所述第一表面相邻的所述第一波导的所述第二表面上。

4. 根据权利要求2所述的目镜,还包括:

第二光学元件,其被与所述第二耦入元件横向对齐地定位为与所述第二波导的所述第二表面相邻,其中,所述第二光学元件被配置为反射所述第二波长范围内的图像光。

5. 根据权利要求4所述的目镜,其中,所述第二耦入元件被定位为横向偏离所述第一耦入元件。

6. 根据权利要求5所述的目镜,其中,所述第一光学元件被进一步配置为反射所述第二波长范围内的图像光。

7. 根据权利要求4所述的目镜,还包括:

第三平面波导,其被定位于与所述第二横向平面相邻的第三横向平面中,其中,所述第三波导包括与其耦合的第三耦入元件,其中,所述第三耦入元件被配置为衍射以与所述第一波长和所述第二波长不同的第三波长为中心的第三波长范围内的图像光。

8. 根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第二耦入元件被定位为与所述第三耦入元件横向对齐。

9. 根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第二光学元件被配置为具有所述第二波长范围处的大于约90%的反射率值。

10. 根据权利要求9所述的目镜,其中,所述第二光学元件被进一步配置为具有所述第三波长范围处的大于约90%的透射率值。

11. 根据权利要求9所述的目镜,还包括:

第三光学元件,其被定位为与所述第三耦入元件横向对齐,其中,所述第三光学元件被配置为反射所述第三波长范围内的图像光。

12. 根据权利要求11所述的目镜,其中,所述第三光学元件被进一步配置为反射所述第二波长范围内的图像光。

13. 一种用于将图像光投射到观看者的眼睛的目镜,所述图像光包括以第一波长为中心的第一波长范围内的图像光和以与所述第一波长不同的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光,所述目镜包括:

第一平面波导，其包括与其光学耦合的第一衍射光学元件DOE，其中，所述第一DOE被沿着所述图像光的光路定位，并且被配置为将所述第一波长范围内的所述图像光的一部分耦合到所述第一平面波导中以在所述第一平面波导中被传播；

第一光学滤波器，其被沿着所述第一DOE下游的所述光路定位，其中，所述第一光学滤波器被配置为衰减入射在其上的所述第一波长范围内的所述图像光；

第二平面波导，其包括与其光学耦合的第二DOE，其中，所述第二DOE被沿着所述第一光学滤波器下游的所述光路定位，并且被配置为将透射通过所述第一光学滤波器的所述第二波长范围内的所述图像光的一部分耦合到所述第二平面波导中以在所述第二平面波导中被传播；以及

第二光学滤波器，其被耦合到所述第一平面波导，其中，所述第二光学滤波器被配置为吸收在所述第一平面波导中传播的所述第二波长范围内的图像光。

14. 根据权利要求13所述的目镜，其中，所述第二波长比所述第一波长更长，并且所述第一光学滤波器包括长通滤波器，所述长通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第一波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第二波长范围的第二透射率值。

15. 根据权利要求14所述的目镜，其中，所述第二光学滤波器包括短通滤波器，所述短通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第二波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第一波长范围的第二透射率值。

16. 根据权利要求14所述的目镜，其中，所述第一光学滤波器被配置为具有针对范围为从约0度到约45度的入射角的所述第一透射率值和所述第二透射率值。

17. 根据权利要求14所述的目镜，其中，所述第一光学滤波器包括：二向色滤波器，其被配置为朝向所述第一平面波导反射所述第一波长范围内的所述图像光的一部分。

18. 根据权利要求13所述的目镜，其中，所述第二波长比所述第一波长更短，并且所述第一光学滤波器包括短通滤波器，所述短通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第一波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第二波长范围的第二透射率值。

19. 根据权利要求18所述的目镜，其中，所述第二光学滤波器包括长通滤波器，所述长通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第二波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第一波长范围的第二透射率值。

20. 根据权利要求13所述的目镜，其中，所述第二光学滤波器包括：

二向色层，其被设置在所述第一平面波导的外表面上；

终止基板，其被设置在所述二向色层上；以及

吸收层，其被设置在所述终止基板上。

21. 根据权利要求13所述的目镜，其中，所述第一DOE和所述第二DOE中的每一者包括耦入光栅。

22. 根据权利要求13所述的目镜，还包括：光学反射器，其被沿着所述第二平面波导下游的所述光路定位。

23. 一种用于将图像光投射到观看者的眼睛的方法，所述图像光包括以第一波长为中心的第一波长范围内的图像光和以与所述第一波长不同的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光，所述方法包括：

通过第一衍射光学元件DOE将所述第一波长范围内的所述图像光的一部分耦合到所述

第一平面波导中,其中,所述第一DOE被沿着所述第一波长范围内的所述图像光的光路定位,并被光学耦合到所述第一平面波导;

通过第一光学滤波器衰减所述第一波长范围内的所述图像光,其中,所述第一光学滤波器被沿着所述第一DOE下游的所述光路定位;

使所述第二波长范围内的所述图像光的一部分透射通过所述第一光学滤波器;

通过第二DOE将所述第二波长范围内的所述图像光的透射部分耦合到第二平面波导中,其中,所述第二DOI被沿着所述第一光学滤波器下游的所述第二波长区域内的所述图像光的所述光路定位,并被光学耦合到所述第二平面波导;以及

通过被耦合到所述第一平面波导的第二光学滤波器,吸收在所述第一平面波导中传播的所述第二波长范围内的所述图像光的至少一部分。

24.根据权利要求23所述的方法,其中,所述第二波长比所述第一波长更长,并且所述第一光学滤波器包括长通滤波器,所述长通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第一波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第二波长范围的第二透射率值。

25.根据权利要求24所述的方法,其中,所述第二光学滤波器包括短通滤波器,所述短通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第二波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第一波长范围的第二透射率值。

26.根据权利要求24所述的方法,其中,所述第一光学滤波器被配置为具有针对范围为从约0度到约45度的入射角的所述第一透射率值和所述第二透射率值。

27.根据权利要求24所述的方法,其中,所述第一光学滤波器包括:二向色滤波器,其被配置为朝向所述第一平面波导反射所述第一波长范围内的所述图像光的一部分。

28.根据权利要求23所述的方法,其中,所述第二波长比所述第一波长更短,并且所述第一光学滤波器包括短通滤波器,所述短通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第一波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第二波长范围的第二透射率值。

29.根据权利要求28所述的方法,其中,所述第二光学滤波器包括长通滤波器,所述长通滤波器被配置为具有小于约10%的针对所述第二波长范围的第一透射率值和大于约90%的针对所述第一波长范围的第二透射率值。

30.根据权利要求23所述的方法,其中,所述第二光学滤波器包括:

二向色层,其被设置在所述第一平面波导的外表面上;

终止基板,其被设置在所述二向色层上;以及

吸收层,其被设置在所述终止基板上。

31.根据权利要求23所述的方法,其中,所述第一DOE和所述第二DOE中的每一者包括耦入光栅。

32.根据权利要求23所述的方法,还包括:通过沿着所述第二平面波导下游的所述光路定位的光学反射器,反射透射通过所述第二平面波导的所述第二波长范围内的图像光。

33.一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜,所述目镜包括:

第一平面波导,其被定位于第一横向平面中,其中,所述第一平面波导包括与其耦合并被设置在第一横向位置处的第一衍射光学元件DOE;

第二平面波导,其被定位于与所述第一横向平面相邻的第二横向平面中,其中,所述第二平面波导包括与其耦合并被设置在第二横向位置处的第二DOE;

第三平面波导，其被定位于与所述第二横向平面相邻的第三横向平面中，其中，所述第三平面波导包括与其耦合并被设置在所述第二横向位置处的第三DOE；以及

光学滤波器，其在所述第二横向位置处被设置在所述第二平面波导与所述第三平面波导之间。

34. 根据权利要求33所述的目镜，其中，所述第一DOE、所述第二DOE和所述第三DOE中的每一者包括耦入光栅。

35. 根据权利要求33所述的目镜，其中：

所述第二DOE被配置为衍射以第一波长为中心的第一波长范围内的图像光；

所述第一DOE被配置为衍射以比所述第一波长更长的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光；

所述第三DOE被配置为衍射以比所述第二波长更长的第三波长为中心的第三波长范围内的图像光；以及

所述光学滤波器被配置为具有所述第一波长范围处的第一透射率值和大于所述第一透射率值的所述第三波长范围处的第二透射率值。

36. 根据权利要求35所述的目镜，其中，所述第一透射率值小于约10%，所述第二透射率大于约90%。

37. 根据权利要求36所述的目镜，其中，所述光学滤波器被配置为具有针对范围为从约0度到约45度的入射角的所述第一透射率值和所述第二透射率值。

38. 根据权利要求33所述的目镜，其中，所述第一横向位置横向偏离所述第二横向位置。

39. 根据权利要求38所述的目镜，还包括：反射器，其在所述第一横向位置处位于所述第一平面波导和所述第二平面波导之间。

40. 根据权利要求39所述的目镜，其中：

所述第一平面波导具有第一表面和与所述第一表面相反的第二表面，并且所述第一DOE被耦合到所述第一平面波导的所述第一表面；

所述第二平面波导具有第一表面和与所述第一表面相反的第二表面，所述第二平面波导的所述第一表面面向所述第一平面波导的所述第二表面，并且所述第二DOE被耦合到所述第二平面波导的所述第一表面；以及

所述第三平面波导具有第一表面和与所述第一表面相反的第二表面，所述第三平面波导的所述第一表面面向所述第二平面波导的所述第二表面，并且所述第三DOE被耦合到所述第三平面波导的所述第一表面。

41. 根据权利要求40所述的目镜，其中，所述反射器被附接到所述第一平面波导的所述第二表面。

42. 根据权利要求40所述的目镜，其中，所述光学滤波器被附接到所述第二平面波导的所述第二表面。

43. 根据权利要求39所述的目镜，其中：

所述第一平面波导具有第一表面和与所述第一表面相反的第二表面，并且所述第一DOE被耦合到所述第一平面波导的所述第二表面；

所述第二平面波导具有第一表面和与所述第一表面相反的第二表面，所述第二平面波

导的所述第一表面面向所述第一平面波导的所述第二表面，并且所述第二DOE被耦合到所述第二平面波导的所述第二表面；以及

所述第三平面波导具有第一表面和与所述第一表面相反的第二表面，所述第三平面波导的所述第一表面面向所述第二平面波导的所述第二表面，并且所述第三DOE被耦合到所述第三平面波导的所述第二表面。

44. 根据权利要求43所述的目镜，其中，所述反射器被附接到所述第一平面波导的所述第二表面。

45. 根据权利要求43所述的目镜，其中，所述光学滤波器被附接到所述第二平面波导的所述第二表面。

46. 根据权利要求43所述的目镜，其中，所述光学滤波器被附接到所述第三平面波导的所述第一表面。

47. 根据权利要求33所述的目镜，还包括：反射器，其在所述第二横向位置处位于与所述第三横向平面相邻的第四横向平面中。

## 一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜

[0001] 本申请是申请日为2017年12月21日、PCT国际申请号为PCT/US2017/067799、中国国家阶段申请号为201780079729.4、发明名称为“一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜”的申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求2016年12月22日提交的序列号为62/438,315的美国临时专利申请的权益，其内容通过引用整体并入。

### 技术领域

[0004] 本公开一般涉及可用于虚拟现实和增强现实可视化系统的目镜。更具体地，本发明涉及一种目镜，该目镜包括一个或多个长通二向色滤波器，用于在不同波导之间进行颜色分离。目镜还可以包括一个或多个短通二向色滤波器，用于进一步减少波长交叉耦合。与常规目镜相比，这种目镜可以提供更紧凑的形状因子和增强的光场亮度和对比度，以及减少的波长交叉耦合。

### 背景技术

[0005] 现代计算和显示技术促进了用于所谓的“虚拟现实”或“增强现实”体验的系统的开发，其中数字再现图像或其部分以它们看起来像真实或者可能被感知为真实的方式呈现给观看者。虚拟现实或“VR”场景通常涉及以对其他实际的真实世界视觉输入不透明的方式呈现数字或虚拟图像信息；增强现实或“AR”场景通常涉及将数字或虚拟图像信息呈现为对观看者周围真实世界的可视化的增强。

[0006] 尽管在这些显示技术中取得了进步，但是本领域需要与增强现实系统相关的方法和系统。

### 发明内容

[0007] 根据本发明的实施例，一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜包括被定位于第一横向平面中的第一平面波导，被定位于与第一横向平面相邻的第二横向平面中的第二平面波导，以及被定位于与第二横向平面相邻的第三横向平面中的第三平面波导。第一波导包括与其耦合并被设置在横向位置处的第一衍射光学元件(DOE)。第一DOE被配置为衍射以第一波长为中心的第一波长范围内的图像光。第二波导包括与其耦合并被设置在横向位置处的第二DOE。第二DOE被配置为衍射以比第一波长更长的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光。第三波导包括与其耦合并被设置在横向位置处的第三DOE。第三DOE被配置为衍射以比第二波长更长的第三波长为中心的第三波长范围内的图像光。目镜进一步包括在横向位置处被设置在第一波导与第二波导之间的第一光学滤波器，以及在横向位置处被定位于第二波导与第三波导之间的第二光学滤波器。第一光学滤波器被配置为具有第一波长范围处的第一透射率值，大于第一透射率值的第二波长范围和第三波长范围处的第二透射率值，以及第一波长范围处的大于约90%的第一反射率值。第二光学滤波器被配置为具

有第一波长范围和第二波长范围处的第三透射率值，大于第三透射率值的第三波长范围处的第四透射率值，以及第二波长范围处的大于约90%的第二反射率值。在一些示例中，第一透射率值和第三透射率值中的每个值可小于约10%；并且第二透射率值和第四透射率值中的每个值可以大于约90%。在一些其它示例中，第一透射率值和第三透射率值中的每个值可小于约20%；以及第二透射率值和第四透射率值中的每个值可以大于约80%。在一些示例中，第一光学滤波器可以被配置为具有针对范围为从约0度到约45度的入射角的第一透射率值和第二透射率值；以及第二光学滤波器可以被配置为具有针对范围为从约0度到约45度的入射角的第三透射率值和第四透射率值。在一些其它示例中，第一光学滤波器可以被配置为具有针对范围为从约0度到约25度的入射角的第一透射率值和第二透射率值；以及第二光学滤波器可以被配置为具有针对范围为从约0度到约25度的入射角的第三透射率值和第四透射率值。

[0008] 根据本发明的另一个实施例，一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜包括被定位于第一横向平面中的第一平面波导。第一波导具有第一横向区域和第二横向区域。第一横向区域被设置在横向位置处并且被配置为接收入射在其第一横向表面上的图像光。图像光包括以第一波长为中心的第一波长范围的图像光，以比第一波长更长的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光，以及以比第二波长更长的第三波长为中心的第三波长范围的图像光。目镜进一步包括第一衍射光学元件(DOE)，该第一衍射光学元件被光学耦合到第一波导的第一横向区域并且被配置为将第一波长范围内的图像光衍射到第一波导中以被朝向第一波导的第二横向区域引导。图像光的第一部分被透射过第一波导。目镜进一步包括第一光学滤波器，该第一光学滤波器在横向位置处被定位于与第一横向平面相邻的第二横向平面中，并且被配置为接收图像光的第一部分。第一光学滤波器被进一步配置为具有第一波长范围的第一透射率值和大于第一透射率值的第二波长范围和第三波长范围的第二透射率值。目镜进一步包括被定位于与第二横向平面相邻的第三横向平面中的第二平面波导。第二波导具有第一横向区域和第二横向区域。第一区域被设置在横向位置处并且被配置为接收透射过第一光学滤波器并入射在其第一横向表面处的图像光。目镜进一步包括第二DOE，该第二DOE被光学耦合到第二波导的第一横向区域并且被配置为将第二波长范围内的图像光衍射到第二波导中以被朝向第二波导的第二横向区域引导。图像光的第二部分被透射过第二波导。目镜进一步包括第二光学滤波器，该第二光学滤波器在横向位置处被定位于与第三横向平面相邻的第四横向平面中，并且被配置为接收图像光的第二部分。第二光学滤波器被配置为具有第一波长范围和第二波长范围的第三透射率值以及大于第三透射率值的第三波长范围的第四透射率值。目镜进一步包括被定位于与第四横向平面相邻的第五横向平面处的第三平面波导。第三波导具有第一横向区域和第二横向区域。第一横向区域被设置在横向位置处并且被配置为接收透射过第二光学滤波器并入射在其第一横向表面处的图像光。目镜进一步包括第三DOE，该第三DOE被光学耦合到第三波导的第一横向区域并且被配置为将第三波长范围内的图像光衍射到第三波导中以被朝向第三波导的第二横向区域引导。

[0009] 根据本发明的又一实施例，一种用于将图像光投射到观看者的眼睛的目镜包括第一平面波导。第一波导包括与其光学耦合的第一衍射光学元件(DOE)。第一DOE被沿着图像光的光路定位，并且被配置为将以第一波长为中心的第一波长范围内的图像光的一部分耦

合到第一平面波导中以在第一平面波导中被传播。目镜进一步包括沿第一DOE下游的光路定位的第一光学滤波器。第一光学滤波器被配置为衰减入射在其上的第一波长范围内的图像光。目镜进一步包括第二平面波导。第二波导包括与其光学耦合的第二DOE。第二DOE被沿着第一光学滤波器下游的光路定位，并且被配置为将以与第一波长不同的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光的一部分耦合到第二平面波导中以在第二平面波导内被传播。目镜进一步包括耦合到第一平面波导的第二光学滤波器。第二光学滤波器被配置为吸收在第一平面波导中传播的第二波长范围内的图像光。

[0010] 根据本发明的另一实施例，一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜包括被定位于第一横向平面中的第一平面波导，被定位于与第一横向平面相邻的第二横向平面中的第二平面波导，以及被定位于与第二横向平面相邻的第三横向平面中的第三平面波导。第一波导包括与其耦合并被设置在第一横向位置处的第一衍射光学元件(DOE)。第二波导包括与其耦合并被设置在第二横向位置处的第二DOE。第三波导包括与其耦合并被设置在第二横向位置处的第三DOE。目镜进一步包括在第二横向位置处被定位于第二波导与第三波导之间的光学滤波器。

[0011] 根据本发明的一些其它实施例，一种用于将图像投射到观看者的眼睛的目镜包括位于第一横向平面中的第一平面波导。第一波导包括与其光学耦合的第一耦入元件。第一耦入元件被配置为衍射以第一波长为中心的第一波长范围内的图像光。目镜进一步包括被定位于与第一横向平面相邻的第二横向平面中的第二平面波导。第二波导包括与其光学耦合的第二耦入元件。第二耦入元件被配置为衍射以与第一波长不同的第二波长为中心的第二波长范围内的图像光。目镜进一步包括与第一耦入元件横向对齐地定位于第一波导与第二波导之间的第一光学元件。第一光学元件被配置为反射第一波长范围内的图像光。

## 附图说明

[0012] 图1示意性地示出了根据本发明的实施例的可用于向观看者呈现数字或虚拟图像的观看光学组件(VOA)的一部分中的光路。

[0013] 图2示意性地示出了目镜中用于观看虚拟图像的一种颜色分离方法。

[0014] 图3示意性地示出了根据本发明的实施例的目镜中用于观看虚拟图像的另一种颜色分离方法。

[0015] 图4示意性地示出了根据本发明的实施例的目镜的平面视图。

[0016] 图5示意性地示出了根据本发明的实施例的目镜的局部横截面视图。

[0017] 图6A-图6D示出了根据本发明的实施例的由不具有滤波器的目镜形成的一些示例图像。

[0018] 图6E-图6H示出了根据本发明的实施例的由具有二向色滤波器的目镜形成的一些示例图像。

[0019] 图7示意性地示出了根据本发明的实施例的光学滤波器的透射率/反射率曲线。

[0020] 图8示意性地示出了根据本发明另一实施例的光学滤波器的透射率/反射率曲线。

[0021] 图9A示意性地示出了根据本发明的实施例的包括与其耦合的短通滤波器的波导的局部横截面视图。

[0022] 图9B示意性地示出了根据本发明的实施例的短通滤波器的横截面视图。

[0023] 图10示意性地示出了根据本发明的实施例的包括与其耦合的短通滤波器的波导的局部横截面视图。

[0024] 图11A-图11D示出了目镜中波导的波长交叉耦合效应。

[0025] 图12A-图12C示意性地示出了根据本发明的实施例的包括与其耦合的短通滤波器的波导的局部横截面视图。

[0026] 图13A-图13C示出了根据本发明的各种实施例的目镜的局部横截面视图。

[0027] 图14示意性地示出了根据本发明的实施例的光学滤波器的透射率/反射率曲线。

## 具体实施方式

[0028] 图1示意性地示出了根据本发明的实施例的可用于向观看者呈现数字或虚拟图像的观看光学组件(VOA)的一部分中的光路。VOA包括投影仪101和可以佩戴在观看者眼睛周围的目镜100。在一些实施例中，投影仪101可包括一组红色LED、一组绿色LED和一组蓝色LED。例如，根据实施例，投影仪101可以包括两个红色LED、两个绿色LED和两个蓝色LED。目镜100可包括一个或多个目镜层。在一个实施例中，目镜100包括三个目镜层，一个目镜层用于三原色中的每一个颜色，红色、绿色和蓝色。在另一实施例中，目镜100可包括六个目镜层，即，用于三原色中的每一个颜色的一组目镜层，该组目镜被配置为在一个深度平面处形成虚拟图像，以及用于三原色中的每一个颜色的另一组目镜层，该组目镜被配置为在另一个深度平面处形成虚拟图像。在其它实施例中，对于三个或更多个不同深度平面，目镜100可以包括用于三原色中的每一个颜色的三个或更多个目镜层。每个目镜层包括平面波导，并且可以包括耦入光栅107、正交光瞳扩展器(OPE)区域108和出瞳扩展器(EPE)区域109。

[0029] 仍然参考图1，投影仪101将图像光投射到目镜层100中的耦入光栅107上。耦入光栅107将来自投影仪101的图像光耦合到在朝向OPE区域108的方向中传播的平面波导中。波导通过全内反射(TIR)在水平方向中传播图像光。目镜层100的OPE区域108还包括衍射元件，该衍射元件将在波导中传播的图像光的一部分朝向EPE区域109耦合并重定向。EPE区域109包括衍射元件，该衍射元件将在波导中传播的图像光的一部分在大致垂直于目镜层100的平面的方向中朝向观看者的眼睛102耦合和引导。以该方式，由投影仪101投射的图像可以由观看者的眼睛102观看。图1所示的VOA的部分对于观看者的一只眼睛可以构成“单片眼镜”。整个VOA可以包括两个这种单片眼镜，观看者的每只眼睛一个。

[0030] 如上所述，由投影仪生成的图像光可以包括三原色，即蓝色(B)、绿色(G)和红色(R)，中的光。需要将这种图像光分离成组成颜色，使得每种组成颜色中的图像光可以被耦合到目镜中的相应波导。图2示意性地示出了使用“光瞳分割”方法的一种颜色分离方法。在该示例中，目镜230包括蓝色波导240、绿色波导250和红色波导260。每个波导240、250或260可以包括耦入光栅(ICG)242、252或262、正交光瞳扩展器(OPE)区域244、254或264，以及出瞳扩展器(EPE)区域246、256或266。每个波导中的ICG、OPE和EPE被设计为用于特定波长范围。例如，蓝色波导240中的ICG 242可以包括衍射光学元件(DOE)，该衍射光学元件被配置为主要将蓝光衍射到蓝色波导240中以被朝向OPE区域244引导。蓝色波导240的OPE区域244可以包括DOE，该DOE被配置为主要将蓝光朝向EPE区域246引导。蓝色波导240的EPE区域246可以包括DOE，该DOE被配置为朝向观看者的眼睛270主要衍射蓝光。

[0031] 在图2所示的示例中，颜色分离器220可以将由投影仪子系统210生成的蓝色、绿色

和红色中的图像光分成在三个空间上分开的光路：蓝色光路248、绿色光路258和红色光路268。蓝色、绿色和红色波导240、250和260中的ICG 242、252和262可以彼此横向偏移，使得用于蓝色波导240的ICG 242可以与蓝光光路248对齐，用于绿色波导250的ICG 252可以与绿色光路258对齐，以及用于红色波导260的ICG 262可以与红色光路268对齐。因为三个波导240、250和260中的ICG 242、252和262需要相对于彼此横向偏移，所以图2中所示的目镜230可以具有相对大的形状因子。

[0032] 图3示意性地示出了根据本发明的实施例的使用“成列(in-line)”方法的另一种颜色分离方法。在该示例中，目镜330也可以包括蓝色波导340、绿色波导350和红色波导360。每个波导340、350或360可以包括ICG 342、352或362、OPE区域344、354或364以及EPE区域346、356或366。这里，由投影仪子系统310生成的蓝色、绿色和红色中的图像光彼此在空间上不分离，并且蓝色、绿色和红色波导340、350和360中的ICG 342、352和362关于彼此横向对齐。因此，图像光以“串行”方式顺序地穿过每个波导。目镜330可以进一步包括被定位于蓝色波导340中的ICG 342与绿色波导350中的ICG 352之间的第一波长选择光学元件392，以及被定位于绿色波导350中的ICG 352与红色波导360中的ICG 362之间的第二波长选择光学元件394。例如，第一和第二波长选择光学元件392和394可以表示波长选择光学滤波器(即，选择性地透射特定范围内的光的光学元件)，和/或波长选择光学反射器(即，选择性地反射特定波长范围内的光的反射镜和其它光学元件)。如下面进一步详细描述的，二向色滤波器是光学元件的一个示例，该光学元件被配置为基于波长既选择性地透射又选择性地反射光。在下文中，第一和第二波长选择光学元件392和394也可以被分别称为“光学滤波器392”和“光学滤波器394”。类似地，参考图4-图14中的任意一者描述的其它波长选择光学元件在此也可称为“光学滤波器”。

[0033] 如图3所示，全部三种颜色中的图像光入射在蓝色波导340中的ICG342上。蓝色波导340中的ICG 342可以将主要在蓝色波长范围内的图像光的一部分耦合到蓝色波导340中以被朝向OPE区域344引导。蓝色波导340中的ICG 342还可以将少量绿色图像光，以及甚至更少量的红光耦合到蓝色波导340中，这将在后面进一步讨论。未耦合到蓝色波导340中的图像光透射过蓝色波导340并入射在第一光学滤波器392上。第一光学滤波器392可以被配置为具有绿色和红色波长范围内的高透射率值，以及蓝色波长范围内的低透射率值。因此，由第一光学滤波器392透射并入射在绿色波导350中的ICG 352上的图像光可以主要包含绿色图像光和红色图像光，以及非常少或没有蓝色图像光。

[0034] 仍然参考图3，绿色波导350中的ICG 352可以将主要在绿色波长范围内的图像光的一部分耦合到绿色波导350中以被朝向OPE区域354引导。绿色波导350中的ICG 352也可以将少量红色图像光耦合到绿色波导350中，这将在后面进一步讨论。未耦合到绿色波导350中的图像光可以透射过绿色波导350并入射在第二光学滤波器394上。第二光学滤波器394可以被配置为具有红色波长范围内的高透射率值，以及绿色和蓝色波长范围内的低透射率值。因此，由第二光学滤波器394透射并入射在红色波导360中的ICG 362上的图像光可以主要包含红色图像光，以及非常少或不包含绿色图像光和蓝色图像光。红色波导360中的ICG 362可以将主要在红色波长范围内的图像光的一部分耦合到红色波导360中以被朝向OPE区域364引导。

[0035] 图4示意性地示出了根据本发明的实施例的目镜400的平面视图。目镜400可以包

括堆叠在相邻横向平面中的蓝色波导440、绿色波导450和红色波导460。每个波导440、450或460可以包括ICG区域410、OPE区域420和EPE区域430。用于三个波导440、450和460的ICG区域410可以被设置在同一横向位置中，并且因此沿同一光路堆叠。第一光学滤波器492可以被定位于蓝色波导440的ICG 410与绿色波导450的ICG 410之间。第二光学滤波器492可以被定位于绿色波导450的ICG 410与红色波导460的ICG 410之间。图4示出的目镜400可以基本上如上面相对于图3所描述起作用。与图2所示的目镜230相比，图3和图4所示的目镜可以具有更小的形状因子，因为三个波导440、450和460中的ICG 410被设置在同一横向位置处而不是彼此横向偏移。

[0036] 图5示意性地示出了根据本发明的实施例的目镜500的局部横截面视图。目镜500可包括设置在第一横向平面中的第一平面波导510。第一波导510可以包括第一横向区域(标记为X10)和第二横向区域(标记为X11)。第一横向区域(X10)可以被设置在横向位置处并且被配置为接收入射在其第一横向表面上的图像光(X02)。图像光(X02)可以包括第一波长范围内的图像光，第二波长范围内的图像光以及第三波长范围内的图像光。例如，第一波长范围可以以与蓝光对应的约462nm波长为中心，第二波长范围可以以与绿光对应的约528nm波长为中心，并且第三波长范围可以以与红光对应的约635nm波长为中心。

[0037] 目镜500可进一步包括光学耦合到第一波导510的第一横向区域(X10)的第一衍射光学元件(DOE)512。第一DOE 512可包括形成在第一波导510(如图5所示)的第一表面或第一波导510的与第一表面相对的第二表面上的耦入光栅(ICG)。第一DOE可以被配置为将第一波长范围内的图像光，例如，蓝色图像光(X14)，衍射到第一波导510中以被朝向第一波导510的第二横向区域(X11)引导。第二横向区域(X11)可以是ICG与OPE(未示出)之间的区域。未耦合到第一波导510中的图像光(X12)的一部分可以透射过第一波导510。

[0038] 目镜500可进一步包括第一光学滤波器520，该第一光学滤波器520被定位于与第一横向平面相邻的第二横向平面中，该第一横向平面在与第一波导510的第一横向区域(X10)相同的横向位置处。第一光学滤波器520可以被配置为接收透射过第一波导510的图像光(X12)的一部分。在一个实施例中，第一光学滤波器520可以被配置为长通滤波器，使得该滤波器具有与绿光和红光对应的波长范围的高透射率值，以及与蓝光对应的波长范围的低透射率值。因此，由第一光学滤波器520(X22)透射的图像光可以主要包含绿色和红色图像光。

[0039] 目镜500可进一步包括第二平面波导530，该第二平面波导530被定位于与第二横向平面相邻的第三横向平面中。第二波导530可以具有第一横向区域(X30)和第二横向区域(X31)。第一横向区域(X30)可以被设置在与第一波导510的第一横向区域相同的横向位置处，并且可以被配置为接收由入射在该第一横向区域(X30)的第一横向表面上的由第一光学滤波器520(X22)透射的图像光。

[0040] 目镜可以进一步包括被光学耦合到第二波导530的第一横向区域(X30)的第二衍射光学元件(DOE)532。第二DOE 532可以包括形成在第二波导530(如图5所示)的第一表面上或者在第二波导530的与第一表面相对的第二表面上形成的耦入光栅(ICG)。第二DOE 532可以被配置为将第二波长范围内的图像光，例如，绿色图像光(X34)，衍射到第二波导530中以被朝向第二波导530的第二横向区域(X31)引导。第二横向区域(X31)可以是ICG与OPE(未示出)之间的区域。未耦合到第二波导530中的图像光(X32)的一部分可以透射过第

二波导530。

[0041] 目镜可进一步包括第二光学滤波器540，该第二光学滤波器540被定位于与第三横向平面相邻的第四横向平面中，该第三横向平面在与第二波导530的第一横向区域(X30)相同的横向位置处。第二光学滤波器540可以被配置为接收透射过第二波导530的图像光(X32)的一部分。在一个实施例中，第二光学滤波器540可以被配置为长通滤波器，使得该滤波器具有与红光对应的波长范围的高透射率值，以及与蓝光和绿光对应的波长范围的低透射率值。因此，由第二光学滤波器540(X42)透射的图像光可以主要包含红色图像光。

[0042] 目镜500可进一步包括第三平面波导550，该第三平面波导550被定位于与第四横向平面相邻的第五横向平面中。第三波导550可以具有第一横向区域(X50)和第二横向区域(X51)。第一横向区域(X50)可以被设置在与第二波导530的第一横向区域(X30)相同的横向位置处，并且可以被配置为接收由入射在该第一横向区域(X50)的第一横向表面上的由第二光学滤波器540(X42)透射的图像光。

[0043] 目镜500可进一步包括光学耦合到第三波导550的第一横向区域(X50)的第三衍射光学元件(DOE)552。第三DOE 552可以包括在第三波导550(如图5中所示)的第一表面上或在第三波导550的与第一表面相反的第二表面上形成的耦入光栅(ICG)(未示出)。第三DOE 552可以被配置为将第三波长范围内的图像光，例如，红色图像光(X54)，衍射到第三波导550中以被朝向第三波导550的第二横向区域(X51)引导。第二横向区域(X51)可以是ICG与OPE(未示出)之间的区域。未耦合到第三波导550中的图像光(X52)的一部分可以透射过第三波导550。

[0044] 根据一些其它实施例，红-绿-蓝波导510、530和550的顺序可以不同于图5所示的顺序。此外，根据一些实施例，目镜500可包括少于三个波导(例如，两个波导)，或多于三个波导(例如，九个波导，每种颜色三个波导)。在一些实施例中，目镜500可以包括用于除红色、绿色和蓝色之外的颜色的波导。例如，代替红色、绿色和蓝色，或者除了红色、绿色和蓝色之外，它可以包括品红色和青色的波导。

[0045] 在一些实施例中，第一光学滤波器520可以被配置为透射绿光和红光并且反射蓝光的二向色长通滤波器。因此，透射过第一波导510的处于蓝色波长范围(X24)的图像光(X12)的一部分可以被反射回第一波导510，并且由第一DOE衍射到第一波导510中以被引导到第一波导510中的OPE和EPE，并被输出给观看者。因此，输出给观看者的蓝色光场的亮度和对比度可以被增强。

[0046] 类似地，第二光学滤波器540可以被配置为透射红光并反射蓝光和绿光的二向色长通滤波器。因此，透射过第二波导530的处于绿色波长范围(X44)的图像光(X32)的一部分可以被反射回第二波导530，并且由第二DOE衍射到第二波导530中以被引导到第二波导530中的OPE和EPE，并被输出给观看者。因此，输出给观看者的绿色光场的亮度和对比度可以被增强。

[0047] 在一些实施例中，目镜可进一步包括光学反射器560，该光学反射器560被定位于与第五横向平面相邻的第六横向平面中，该第六横向平面处于与第三波导550的第二横向区域(X50)相同的横向位置。与上述二向色长通滤波器非常相似，光学反射器560可以被配置为将透射过第三波导550(X52)的图像光反射回第三波导550。由光学反射器560(X64)反射的红色波长范围内的图像光的一部分可以由第三DOE衍射到第三波导550中以被引导到

第三波导550的OPE和EPE，并被输出给观看者。在一些示例中，光学反射器560可以被实现为波长选择性光学元件，诸如被配置为反射至少红色波长范围内的光的二向色滤波器。在其它示例中，光学反射器560可以被实现为反射镜或其它光学元件，该光学反射器560被配置为反射相对宽范围的波长。在任一情况下，输出给观看者的红光场的亮度和对比度可以被增强。

[0048] 图6A-图6D示出了根据实施例的由不具有二向色滤波器的目镜形成的一些示例图像。图6A是由包括红色图像光、绿色图像光和蓝色图像光的图像光形成的图像。图6B-图6D分别是由红色图像光、绿色图像光和蓝色图像光形成的多个图像。图6E-图6H示出了根据实施例的由具有二向色滤波器的目镜，诸如图5中所示的目镜500，形成的一些示例图像。图6E是由包括红色图像光、绿色图像光和蓝色图像光的图像光形成的图像。图6F-图6H分别是由红色图像光、绿色图像光和蓝色图像光形成的多个图像。可以看出，由具有二向色滤波器的目镜形成的多个图像可以比由不具有二向色滤波器的目镜形成的那些图像更亮。实际上，二向色滤波器的反射特性可用于增强基于波导的目镜中的亮度。

[0049] 图7示意性地示出了根据本发明的实施例的第一光学滤波器520的透射率/反射率曲线。第一光学滤波器520可以被配置为长通滤波器，该长通滤波器对于比阈值波长（例如，510nm）更长的波长具有高透射率值（例如，接近100%）和低反射率值（例如，接近0%），以及对于比阈值波长更短的波长具有低透射率值（例如，接近0%）和高反射率值（例如，接近100%）。

[0050] 在一些实施例中，第一光学滤波器520可以被配置为对于比阈值波长（例如，510nm）更长的波长具有大于约90%的透射率值，并且对于比阈值波长更短的波长具有小于约10%的透射率值。在一些其它实施例中，第一光学滤波器520可以被配置为对于比阈值波长（例如，510nm）更长的波长具有大于约80%的透射率值，并且对于比阈值波长更短的波长具有小于约20%的透射率值。第一光学滤波器520可以具有其它透射率值范围。颜色对比度可以取决于透射率值范围而变化。

[0051] 第一光学滤波器520可以包括例如多层薄膜滤波器。多层薄膜滤波器的透射率/反射率曲线通常对入射角敏感。例如，第一光学滤波器520可以被设计为具有由实线710表示的针对零度入射角（即，法线入射）的透射率/反射率曲线，其中阈值波长是约510nm。为了增加入射角，阈值波长可以偏移到更短的波长。例如，如虚线720所示，对于45度入射角，阈值波长可以偏移到约459nm。在一些实施例中，第一光学滤波器520可以被设计为使得针对预定的入射角范围，阈值波长保持低于绿色图像光的中心波长（例如，528nm）并且高于蓝色图像光的中心波长（例如，462nm）。在一个实施例中，对于90度视野（FOV），预定的入射角范围可以从约0度到约45度。在另一个实施例中，对于50度FOV，预定的入射角范围可以从约0度到约25度。这种滤波器设计使得对第一光学滤波器520进行角度不敏感操作。也就是说，只要图像光的入射角在预定范围内，第一光学滤波器520将绿光和红光透射并反射蓝光。

[0052] 图8示意性地示出了根据本发明另一实施例的第一光学滤波器520的透射率/反射率曲线。这里，针对45度入射角，第一光学滤波器520可以被设计为具有由实线810表示的透射率/反射率曲线，其中阈值波长是约459nm。为了减小入射角，阈值波长可以偏移到更长的波长。例如，针对零度入射角，阈值波长可以偏移到如虚线820所示的约510nm。第一光学滤波器520可以被设计为对于预定的入射角范围，使得阈值波长保持低于绿色图像光的中心

波长(例如,528nm)并高于蓝色图像光的中心波长(例如,462nm),以用于角度不敏感操作。

[0053] 第二光学滤波器540还可以被设计为用于角度不敏感操作。例如,第二光学滤波器540可以被设计为长通滤波器,该长通滤波器针对预定范围的入射角,具有低于红色图像光的中心波长(例如,635nm)并高于绿色图像光的中心波长(例如,528nm)的阈值波长。

[0054] 参考图5,在一些其它实施例中,红绿蓝色波导510、530和550可以被不同地排序。例如,第一波导510可以被配置为红色波导,第二波导530可以被配置为绿色波导,以及第三波导550可以被配置为蓝色波导。在这种情况下,第一光学滤波器520可以被配置为短通滤波器,该短通滤波器具有蓝色和绿色波长范围内的高透射率值以及红色波长范围内的低透射率值。类似地,第二光学滤波器550可以被配置为短通滤波器,该短通滤波器具有蓝色波长范围内的高透射率值以及绿色和红色波长范围内的低透射率值。

[0055] 作为另一示例,第一波导510可以被配置为蓝色波导,第二波导530可以被配置为红色波导,以及第三波导550可以被配置为绿色波导。在这种情况下,第一光学滤波器520可以被配置为长通滤波器,该长通滤波器具有绿色和红色波长范围内的高透射率值以及蓝色波长范围内的低透射率值。第二光学滤波器540可以被配置为短通滤波器,该短通滤波器具有绿色波长范围内的高透射率值以及红色波长范围内的低透射率值。

[0056] 参考图5,如上所述,耦合到第一波导510的第一横向区域(X10)的第一DOE 512(也称为ICG)可以被设计为主要将蓝光衍射到第一波导510中。实际上,第一DOE 512还可以将少量绿光衍射(即,交叉耦合)到第一波导510中。图9A说明了该情况。在那里,蓝色图像光、绿色图像光和红色图像光入射在第一波导510上。而第一DOE 512主要将蓝光衍射到第一波导510中以被朝向第二横向区域(X11)引导,少量的绿色图像光也可以由第一DOE 512衍射到第一波导510中。

[0057] 类似地,耦合到第二波导530的第一横向区域(X30)的第二DOE 532可以被设计为主要将绿光衍射到第二波导530中。实际上,第二DOE 532也可以将少量红光交叉耦合到第二波导530中。图10说明了该情况。在那里,绿色图像光和红色图像光可以由长通滤波器520透射并入射在第二波导530上。虽然第二DOE 532主要将绿光衍射到第二波导530中以被朝向第二横向区域(X31)引导,但是少量红色图像光也可以由第二DOE 532衍射到第二波导530中。

[0058] 图11A-图11D示出了波长“交叉耦合”效应。图11A示出由蓝色波导形成的蓝色光场的图像。图11B示出了由蓝色波导交叉耦合的绿色光场的图像。图11C示出了由绿色波导形成的绿色光场的图像。图11D示出了由绿色波导交叉耦合的红光场的图像。

[0059] 根据本发明的实施例,如图9A所示,第一波导510可以包括与第一波导510的第二横向区域(X11)耦合的第一短通滤波器518。第一短通滤波器518可以被配置为使蓝光通过并吸收绿光,使得交叉耦合到第一波导510中的绿色图像光可以由第一短通滤波器518吸收,并且因此可以防止绿色图像光传播到第一波导510的OPE和EPE区域。

[0060] 根据实施例,如图10所示,第二波导530还可以包括耦合到第二波导530的第二横向区域(X31)的第二短通滤波器538。第二短通滤波器538可以被配置为使绿光通过并吸收红光,使得交叉耦合到第二波导530中的红色图像光可以由第二短通滤波器538吸收,并且因此可以防止红色图像光传播到第二波导530的OPE和EPE区域。

[0061] 图9B示意性地示出了根据本发明的实施例的短通滤波器518的横截面视图。短通滤波器518可以被设置在第一波导510的第二横向区域(X11)的外表面上。在一些实施例中,

短通滤波器518可以包括设置在第一波导510的外表面上的二向色层910。二向色层910可以包括例如多层薄膜，该多层薄膜被设计为具有与图7所示的透射率/反射率曲线类似的透射率/反射率曲线，其中针对预定的入射角范围，阈值波长低于绿色图像光的中心波长(例如，528nm)并且高于蓝色图像光的中心波长(例如，462nm)。因此，二向色层910可以将入射在其上的蓝色图像光反射回第一波导510以被朝向EPE区域引导，并对入射在其上的绿色图像光进行透射。短通滤波器518可以进一步包括设置在二向色层910上的终止基板920(例如，玻璃层)，以及设置在终止基板920上的吸收层930。吸收层930可以被配置为吸收由二向色层910透射的光。

[0062] 图12A示意性地示出了根据一些实施例的波导1200。波导1200可以包括第一横向区域1202和第二横向区域1204。波导1200还可以包括衍射光学元件(DOE)1203，该衍射光学元件被光学耦合到第一横向区域1202，并且被配置为将入射光Y02a的一部分衍射到波导1200中。例如，DOE1203可以被设计成主要将蓝光衍射到第一波导1200中。实际上，如上所述，DOE也可以将少量绿光衍射(即，交叉耦合)到第一波导1200中。

[0063] 波导1200还可以包括与波导1200的第二横向区域1204耦合的短通滤波器1210。短通滤波器1210可以包括具有例如通过基板掺杂工艺嵌入波导1200中的具有折射率匹配特性的粒子(particles)。粒子可以吸收例如绿光或具有比蓝光波长更长的波长的光，并透射蓝光。在一些实施例中，折射率匹配可能不是严格的要求。在这种情况下，光可以在粒子与波导介质之间的界面处折射，但是仍然可以以原始角度继续传播。可能希望最小化不连续点处的散射。

[0064] 图12B示意性地示出了根据一些其它实施例的波导1200。波导1200可以包括耦合到波导1200的第二横向区域1204的短通滤波器1220。这里，短通滤波器1220可以包括在波导1200的第二横向区域1204内侧的腔体，其中腔体的顶表面与波导1200的外表面齐平。腔体可以填充有折射率匹配的染料，该染料吸收绿光或具有比蓝光波长更长的波长的光。在一些实施例中，代替制造和填充腔体，可以通过使染料扩散通过波导1200的表面来创建滤波器，从而在波导1200内产生部分或完全染色(或“掺杂”)的体积。在一个实施例中，染料的折射率可以与波导1200的折射率相匹配，使得染料不会影响蓝色图像光通过全内反射(TIR)在波导1200中的传播。在一些其它实施例中，可以允许一些折射率失配，只要它不影响传播，并且界面处的散射被控制到某种程度。

[0065] 图12C示意性地示出了根据一些其它实施例的波导1200。波导1200可以包括施加到波导1200的第二横向区域1204的外表面的染料层1230。染料层(Y13c)可以吸收绿光或具有比蓝光波长更长的波长的光，并反射蓝光。

[0066] 图13A示出了根据本发明另一实施例的目镜的局部横截面视图。目镜可包括定位于第一横向平面中的第一平面波导1310，定位于与第一横向平面相邻的第二横向平面中的第二平面波导1340，以及定位于与第三横向平面相邻的第三横向平面中的第三平面波导1370。输入图像光被分成两个光路，其中蓝色和红色图像光在第一横向位置处入射在目镜上，并且绿色图像光在从第一横向位置偏移的第二横向位置处入射在目镜上。

[0067] 目镜可进一步包括第一衍射光学元件(DOE)1320，诸如耦入光栅(ICG)，其在第二横向位置处被设置在第一波导1310的第一表面上。第一DOE被配置为接收入射在其上的绿色图像光的一部分并将该绿色图像光的一部分衍射到第一波导1310中，以被引导到第一波

导1310的OPE和EPE区域。目镜可进一步包括设置在第二横向位置处的第一波导1310的第二表面上的第一光学反射器1330。在一些示例中，光学反射器1330可以实现为波长选择性光学元件，诸如被配置为反射至少绿色波长范围内的光的二向色滤波器。在其它示例中，光学反射器1330可以实现为反射镜或其它光学元件，该光学反射器1330被配置为反射相对宽范围的波长(例如，镀铝材料)。由此得出，在任一情况下，第一光学反射器1330可以被配置为将在第一次通过时未被第一DOE 1320耦合到第一波导1310中的绿色图像光反射回第一DOE 1320。由第一光学反射器1330反射的绿色图像光的一部分可以由第一DOE 1320衍射到第一波导1310中。因此，输出给观看者的绿色光场的亮度和对比度可以被增强。

[0068] 目镜可进一步包括第二DOE 1350，该第二DOE 1350在第一横向位置处设置在第二波导1340的第一表面上。第二DOE 1350可以被配置为接收入射在其上的蓝色图像光的一部分并将该蓝色图像光的一部分衍射到第二波导1340中，以被朝向第二波导1340的OPE和EPE区域引导。目镜可以进一步包括光学滤波器1360(即，波长选择光学元件)，该光学滤波器1360在第一横向位置处被设置在第二波导1340的第二表面上。光学滤波器1360可以包括二向色长通滤波器，该二向色长通滤波器被配置为具有针对红色图像光的高透射率值，以及针对蓝色图像光的低透射率值和高反射率值。因此，在第一次通过时未被第二DOE 1350耦合到第二波导1340中的蓝色图像光的一部分可以被反射回第二DOE 1350并且由第二DOE 1350耦合到第二波导1340中。因此，输出给观看者的蓝色光场的亮度和对比度可以被增强。由光学滤波器1360透射的红色图像光入射在第三波导1370上。

[0069] 目镜可进一步包括第三DOE 1380，该第三DOE 1380在第一横向位置处被设置在第三波导1370的第一表面上。第三DOE 1380可以被配置为接收并将入射在其上的红色图像光的一部分衍射到第三波导1370中，以被朝向第三波导1370的OPE和EPE区域引导。目镜可以进一步包括第二光学反射器1390，该第二光学反射器1390在第一横向位置处被设置在第三波导1370的第二表面上。在一些示例中，光学反射器1390可以被实现为波长选择性光学元件，诸如被配置为反射至少红色波长范围内的光的二向色滤波器。在其它示例中，光学反射器1390可以被实现为反射镜或其它光学元件，该光学反射器1390被配置为反射相对宽范围的波长(例如，镀铝材料)。在任一种情况下，第二光学反射器1390可以被配置为将在第一次通过时未被第三DOE 1380耦合到第三波导1370中的红色图像光反射回第三DOE 1380。由第二光学反射器1390反射的红色图像光的一部分可以由第三DOE 1380衍射到第三波导1370中。因此，输出给观看者的红色光场的亮度和对比度可以被增强。

[0070] 图13B示出了根据本发明另一实施例的目镜的局部横截面视图。图13B所示的目镜类似于图13A所示的目镜，以下各项除外：第一DOE被设置在第一波导1310的第二表面上，与第一光学反射器1330相同的表面上；第二DOE 1350被设置在第二波导1340的第二表面上，与光学滤波器1360相同的表面上；以及第三DOE 1380设置在第三波导1370的第二表面上，与第二光学反射器1390相同的表面上。

[0071] 图13C示出了根据本发明又一实施例的目镜的局部横截面视图。图13C所示的目镜类似于图13B所示的目镜，除了光学滤波器1360被设置在第三波导1370的第一表面上之外。

[0072] 图13A-图13C中示出的每个实施例可具有其自身的利弊。在图13A所示的实施例中，因为第一DOE、第二DOE和第三DOE被形成在波导的第一表面上，所以它们以透射模式操作。相比之下，在图13B和图13C所示的实施例中，第一DOE、第二DOE和第三DOE被形成在波导

的第二表面上，并且因此以反射模式操作。DOE在反射模式下可能比在透射模式下更有效。使镀铝DOE处于反射模式可以进一步提高衍射效率。使DOE和二向色滤波器在相对的表面上可能对制造更具挑战性，因为它需要在两个表面上构图。

[0073] 图14示意性地示出了根据本发明的实施例的光学滤波器1360的透射率/反射率曲线。光学滤波器1360的透射率/反射率曲线类似于图7和图8所示的那些透射率/反射率曲线，类似之处在于：对于比阈值更长的波长，它表现出高透射率值（例如，接近100%）和低反射率值（例如，接近0%）；以及对于比阈值更短的波长，表现出低透射率值（例如，接近0%）和高反射率值（例如，接近100%）。

[0074] 光学滤波器1360可以包括多层薄膜，该多层薄膜透射率/反射率特征可以如上所述对入射角敏感。例如，针对45度入射角，光学滤波器1360可以被设计为具有由实线1410表示的透射率/反射率曲线。为了减小入射角，上升沿可以向更长的波长偏移。例如，零度入射角的透射率/反射率曲线可以由虚线1420表示。

[0075] 如上所述，为了能够对光学滤波器1360进行角度不敏感操作，可能希望透射率/反射率曲线的上升沿针对预定的入射角范围（例如，从约0度到约45度）保持低于红色图像光的中心波长（例如，635nm）并高于蓝色图像光的中心波长（例如，462nm）。这里，因为只有蓝色和红色图像光入射在光学滤波器1360上，并且因为蓝色图像光的中心波长和红色图像光的中心波长彼此相隔较远，所以对透射率/反射率曲线的要求可以更加宽松。例如，与图7和图8所示的透射率/反射率曲线相比，在零度入射角与45度入射角之间，该透射率/反射率曲线的上升沿可以偏移更大的波长范围。此外，透射率/反射率曲线的上升沿可能不需要如图7和图8所示的那些透射率/反射率曲线陡峭。因此，与图2所示将蓝绿红图像光分成三个分离的光路中的目镜相比，图13A-图13C所示的目镜可以提供更小的形状因子，同时对光学滤波器的透射率/反射率包络的要求不那么严格。

[0076] 应理解，在此描述的示例和实施例仅用于说明目的，并且对于本领域技术人员而言，将建议稍微对其进行各种修改或改变，并且这些修改或改变将包括在本申请的精神和范围内以及所附权利要求的范围内。

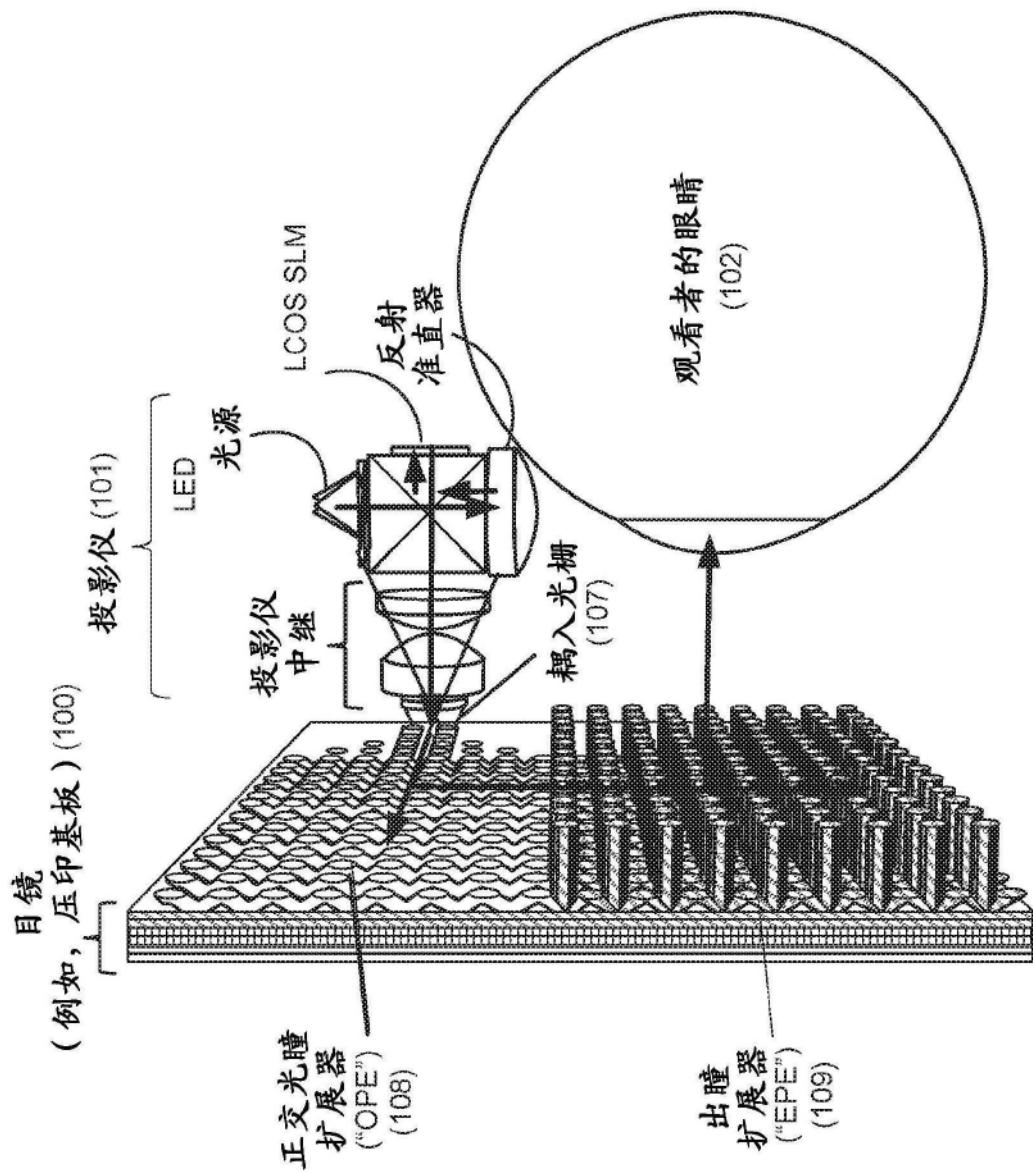


图1

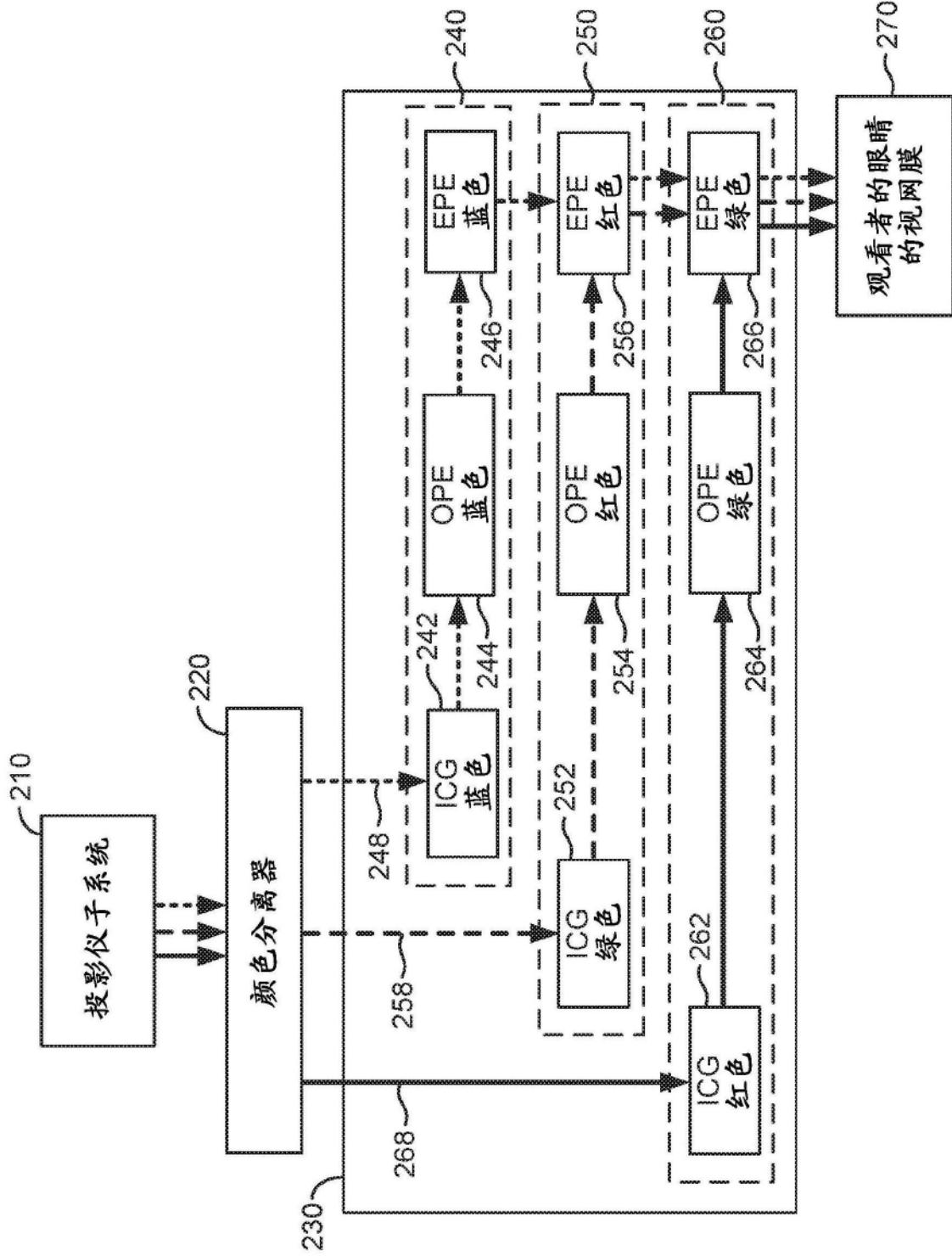


图2

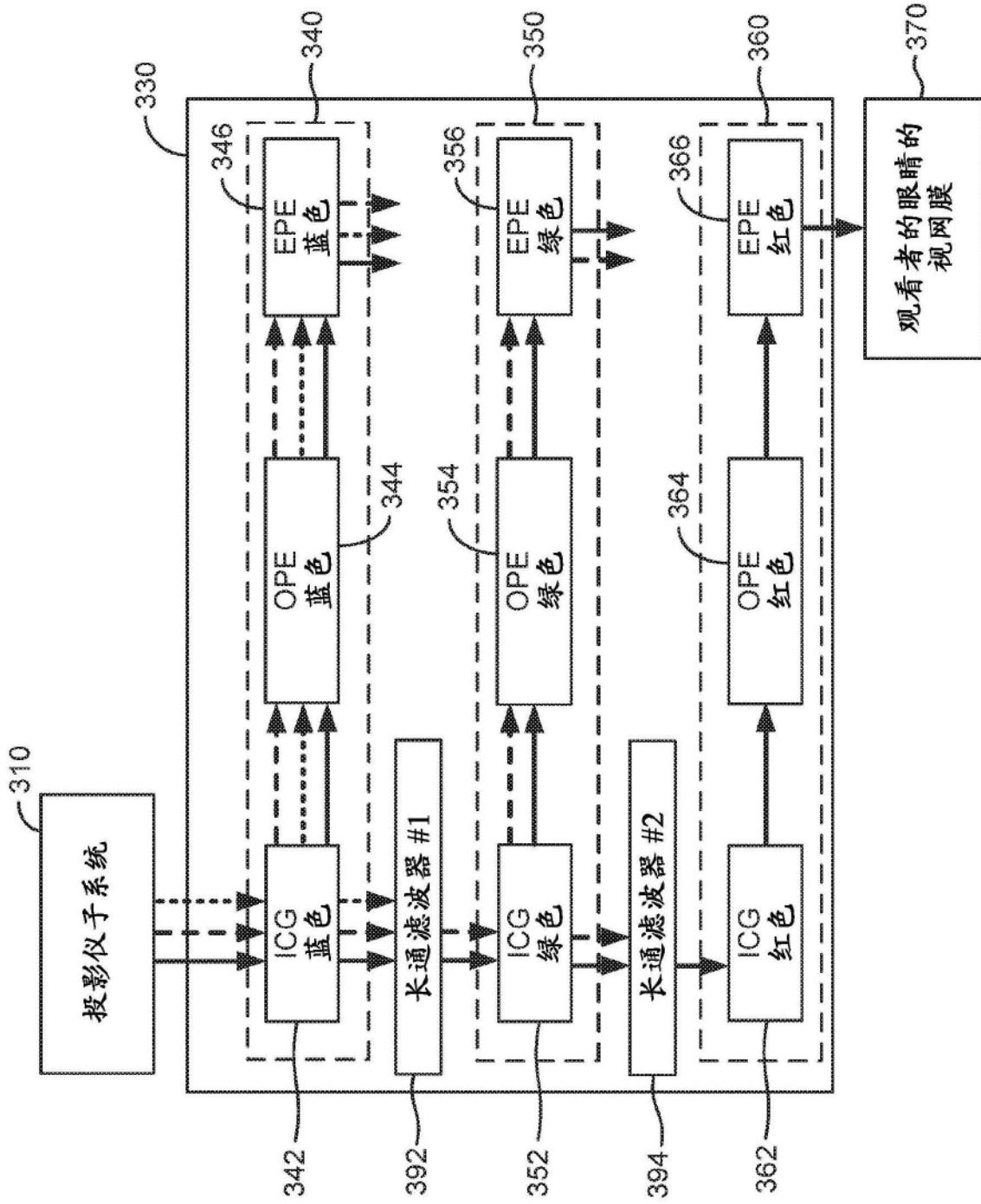


图3

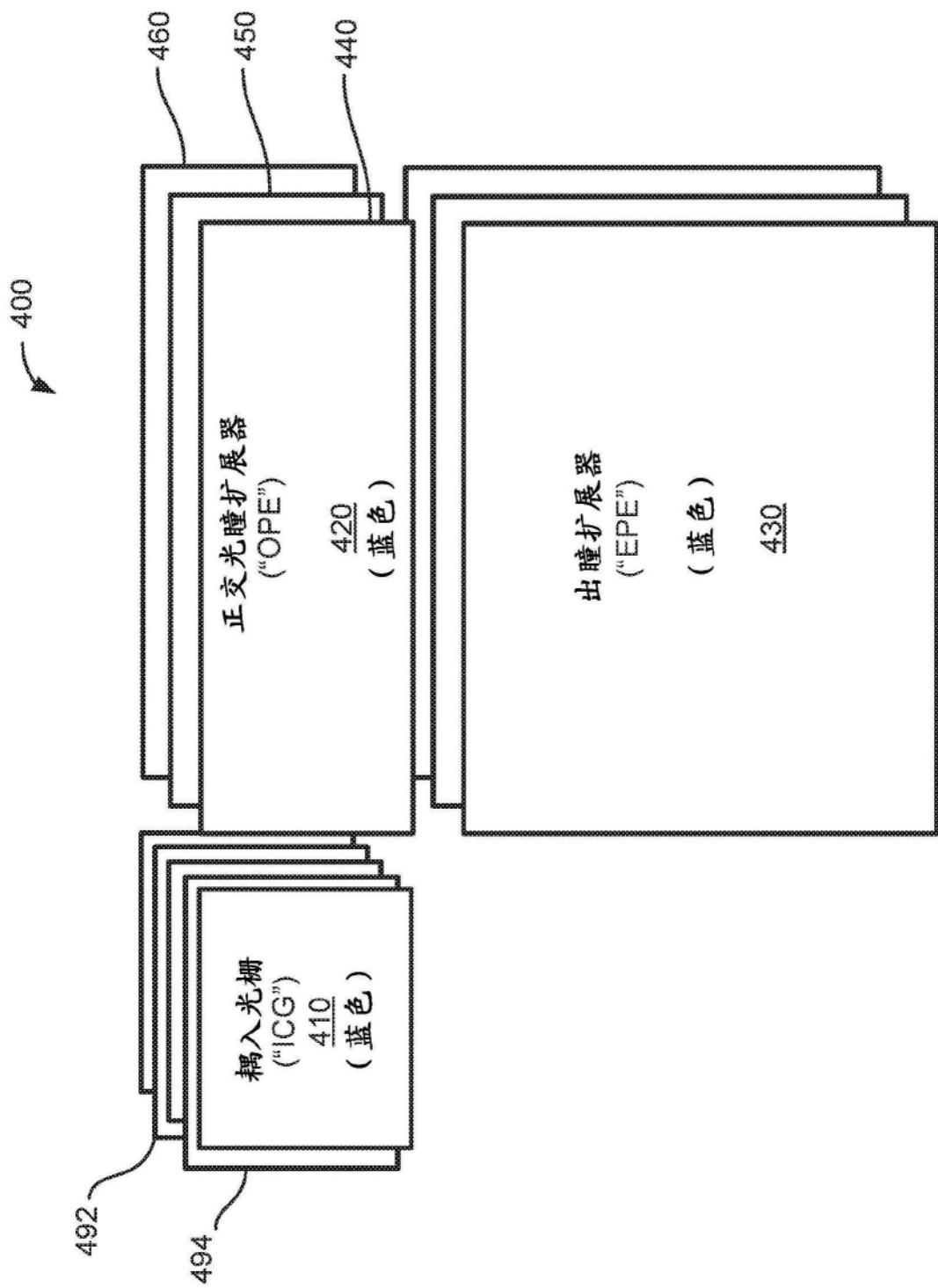


图4

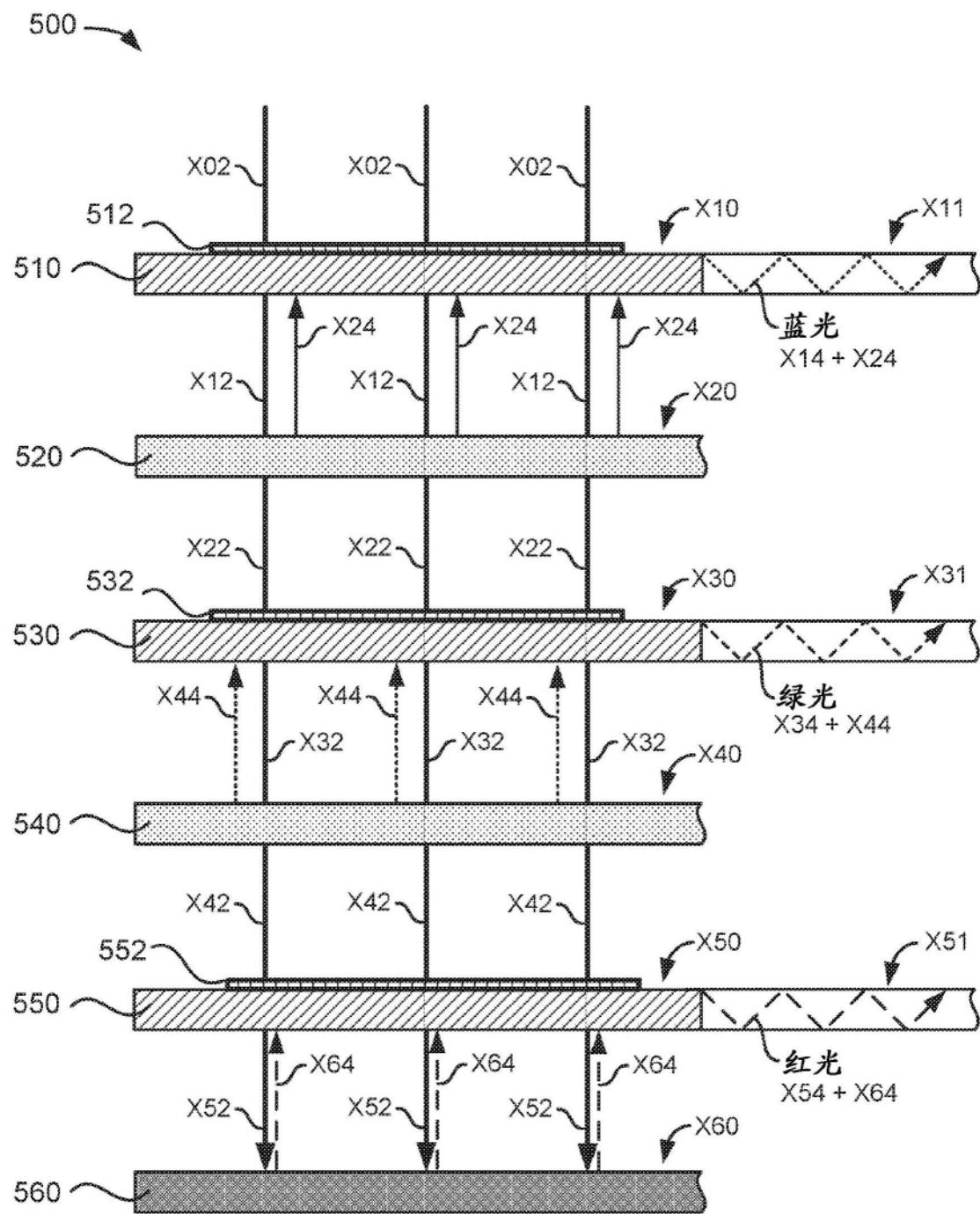


图5

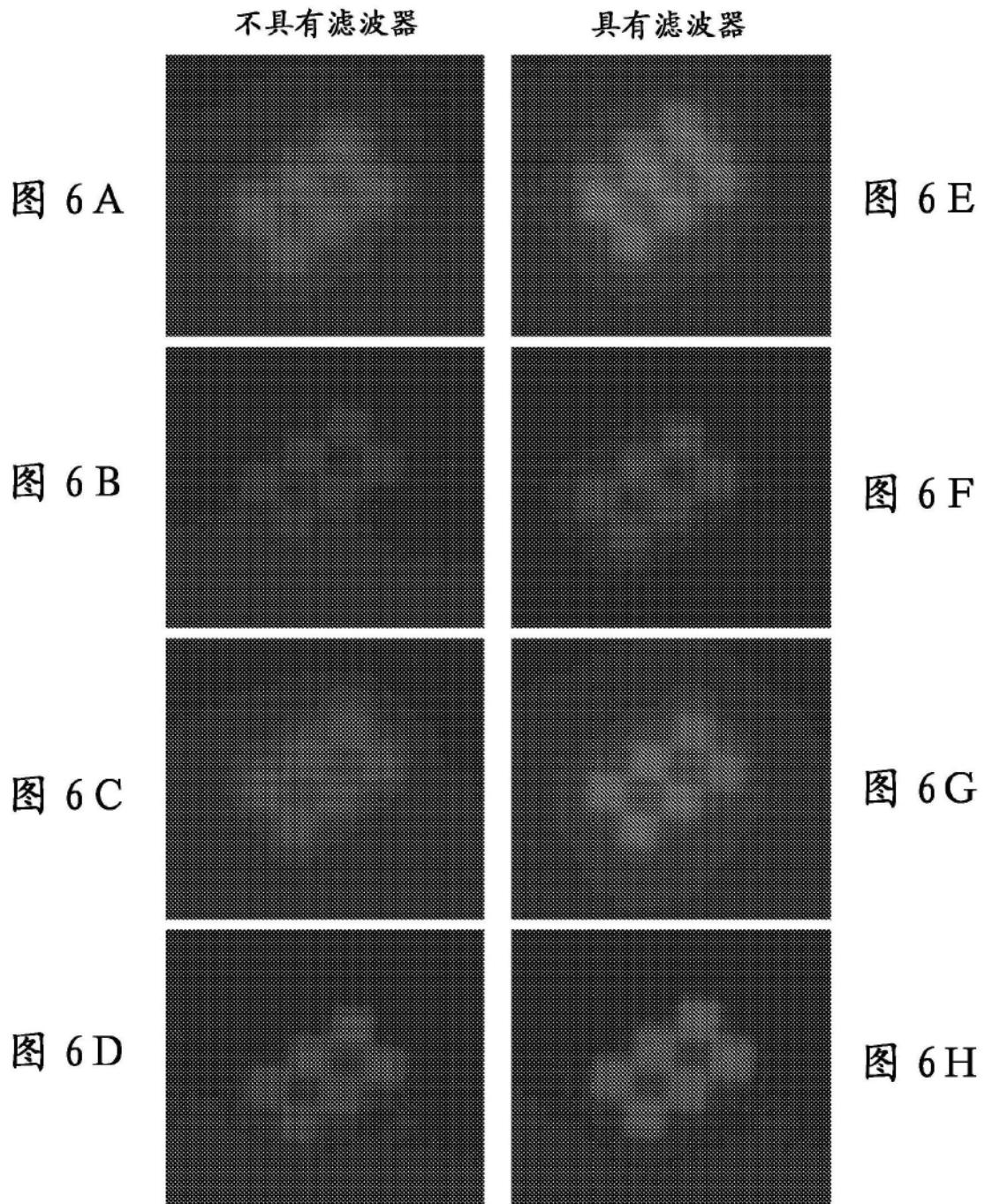


图6

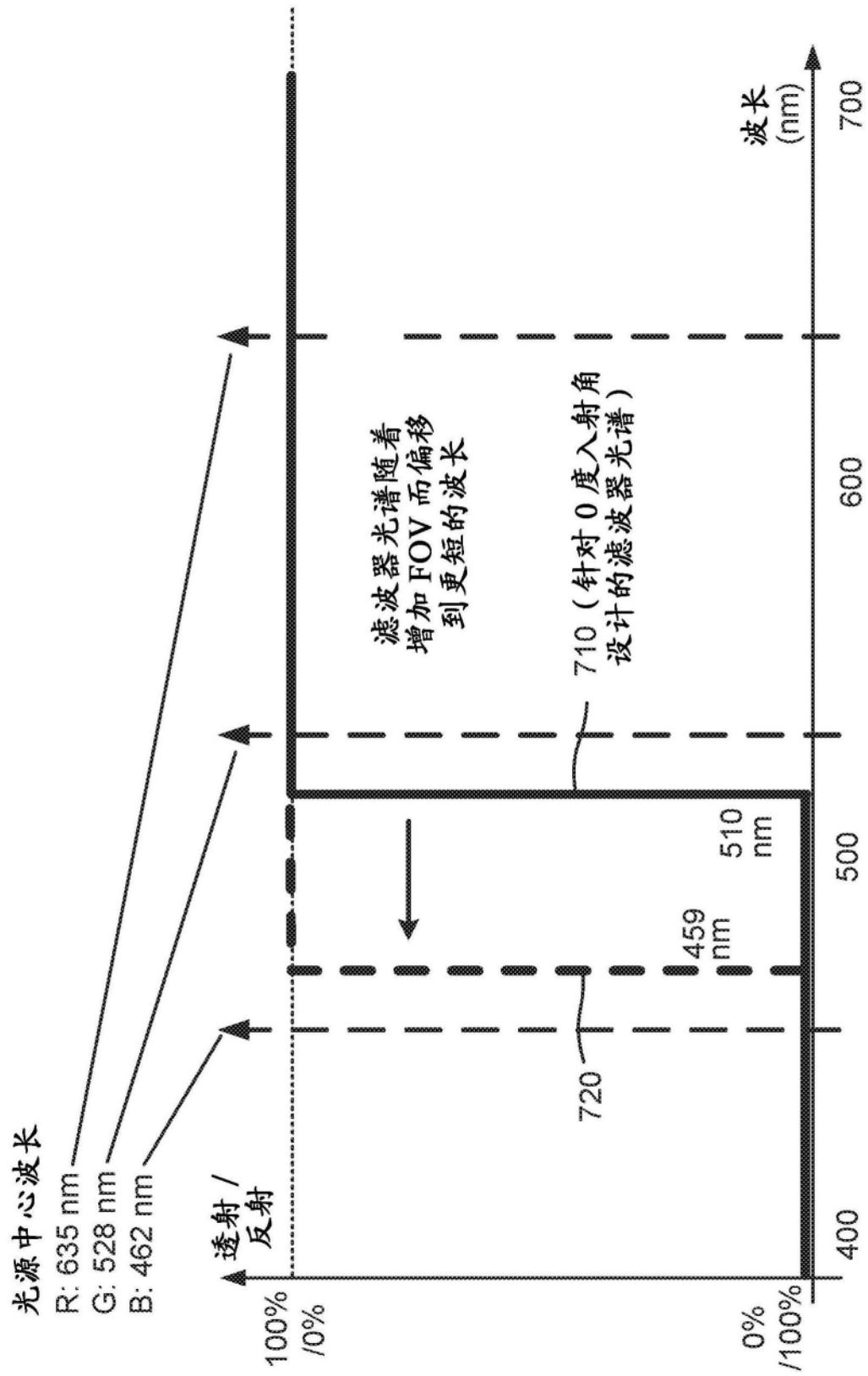


图7

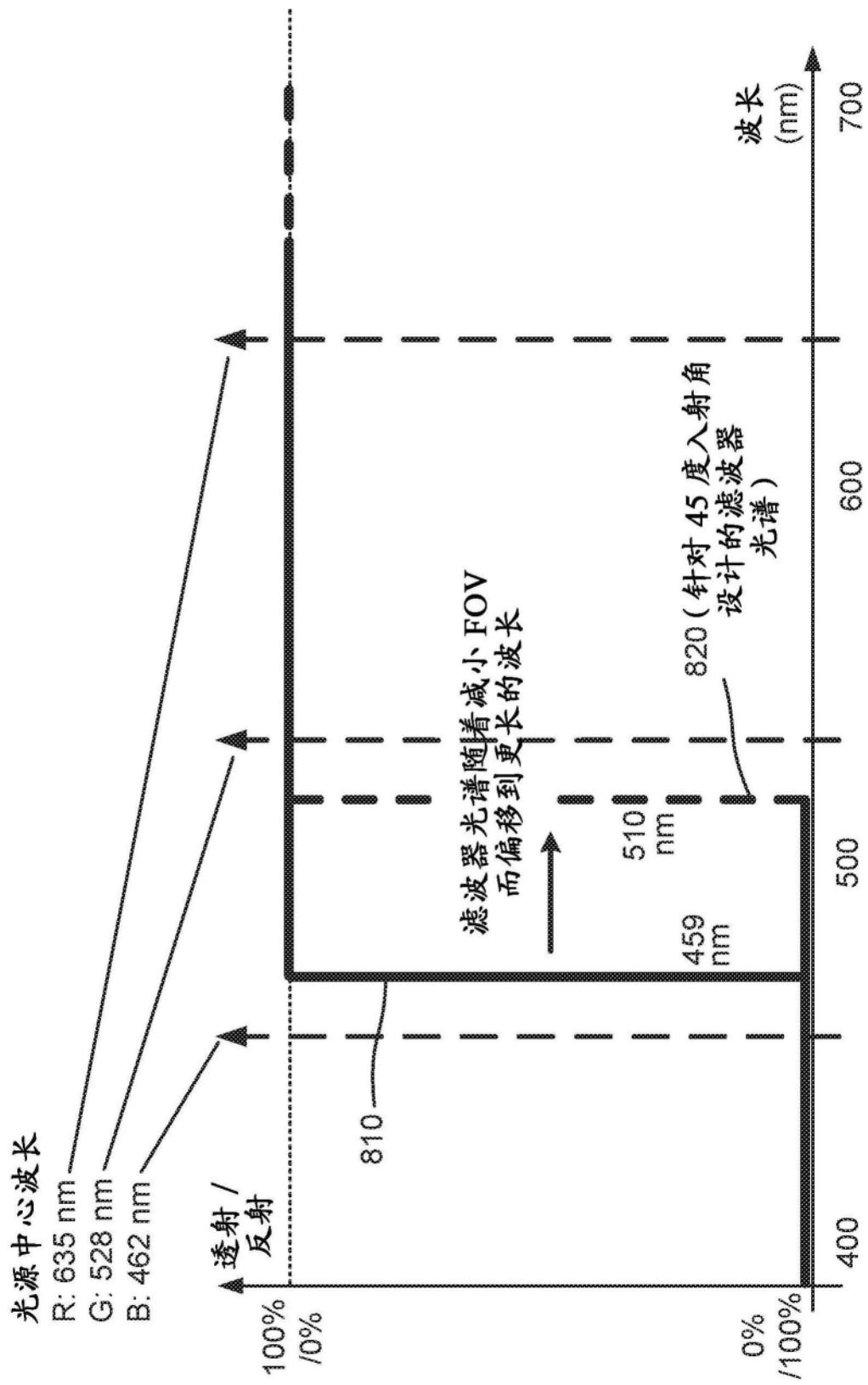


图8

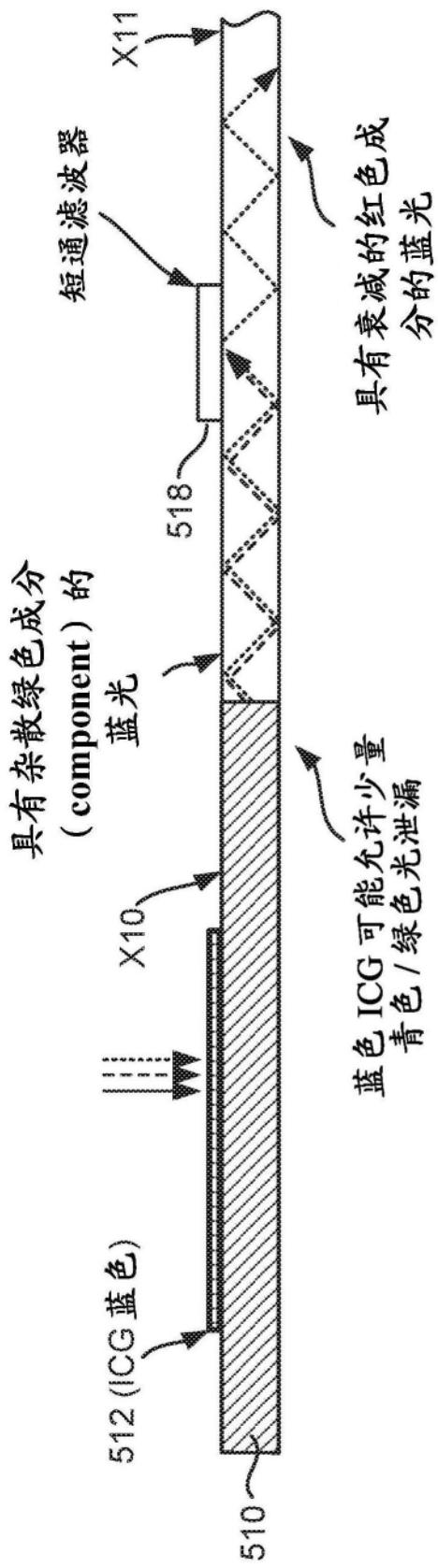


图9A

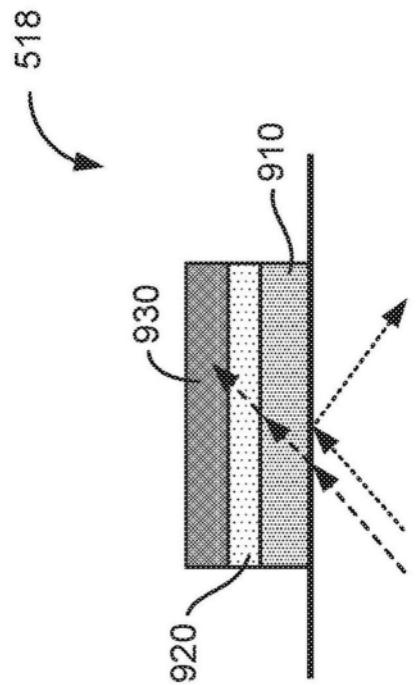


图9B

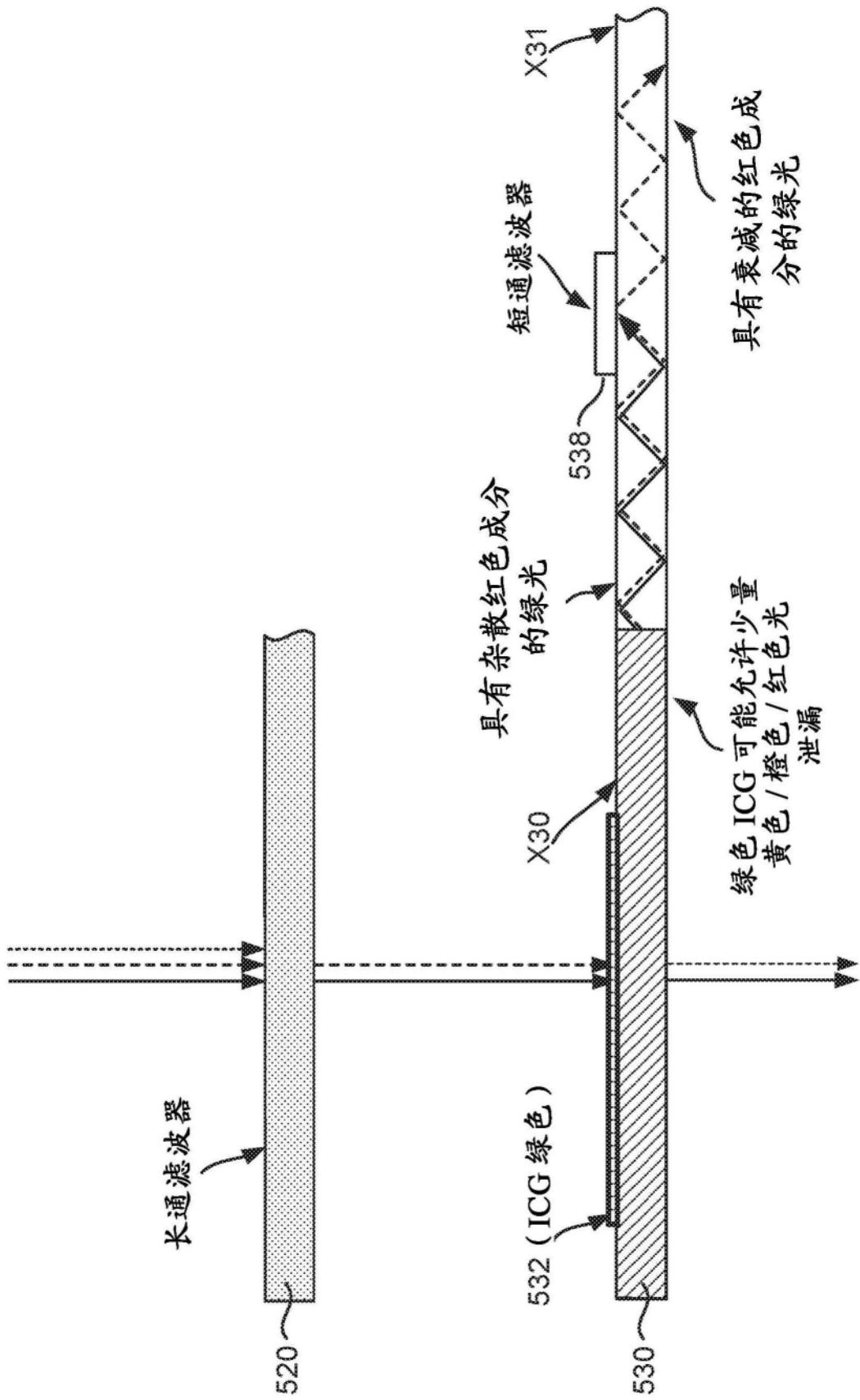


图10

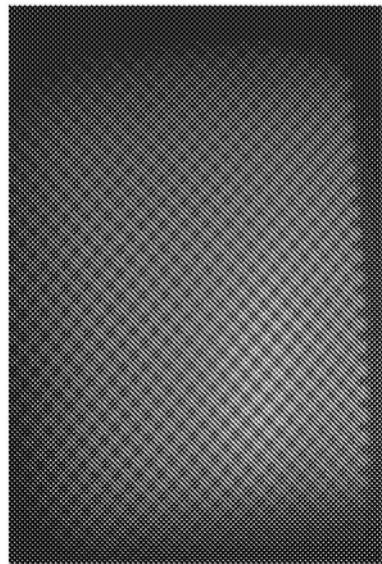


图11A

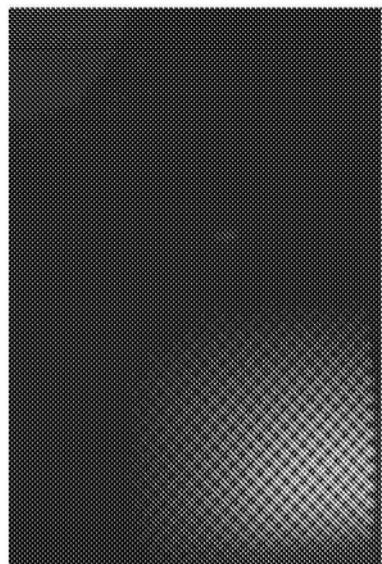


图11B

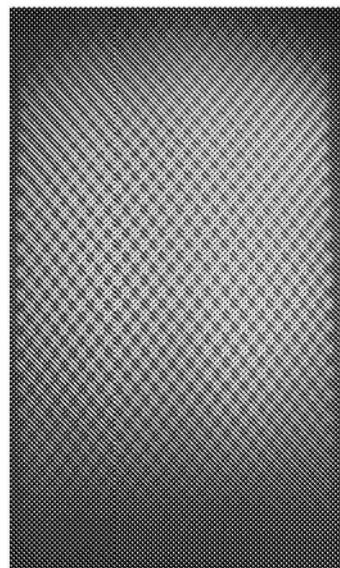


图11C

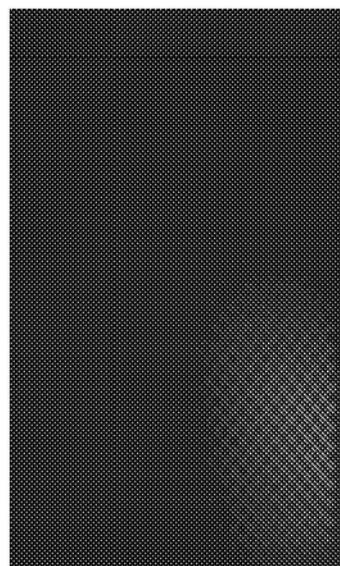


图11D

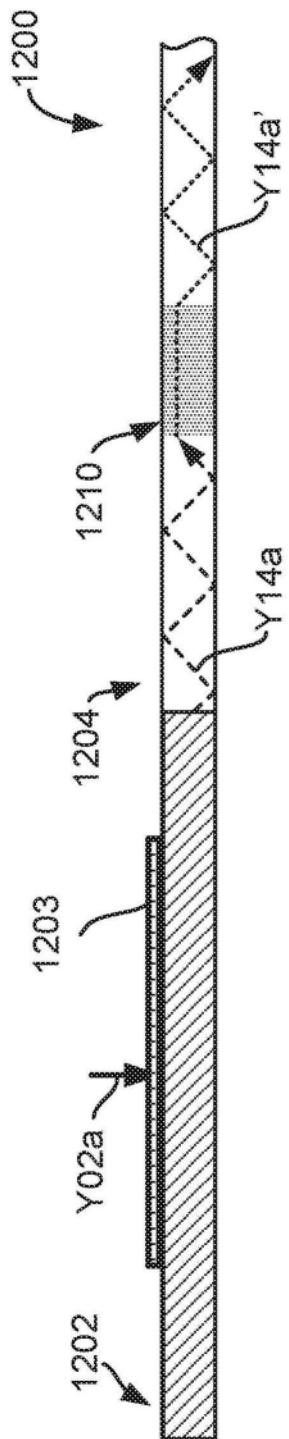


图12A

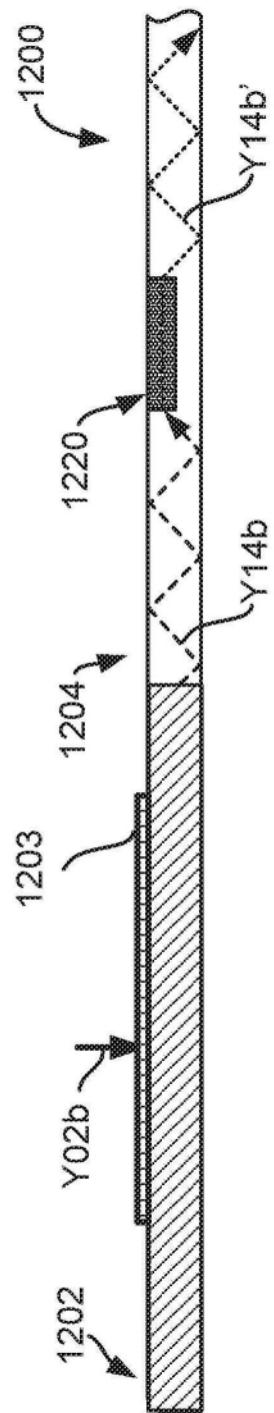


图12B

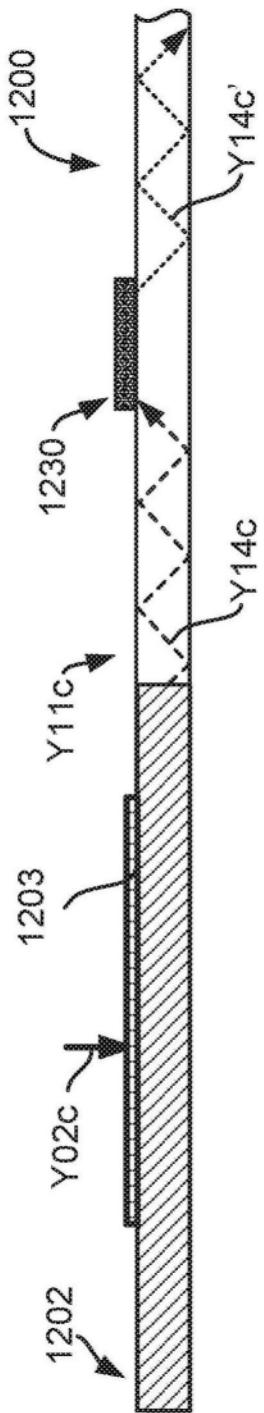


图12C

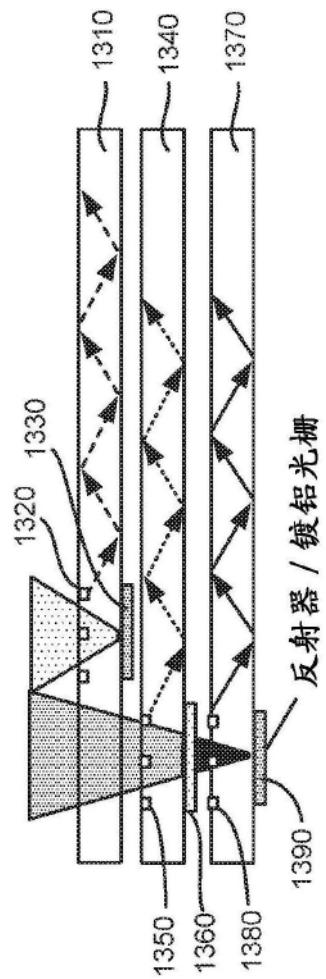


图13A

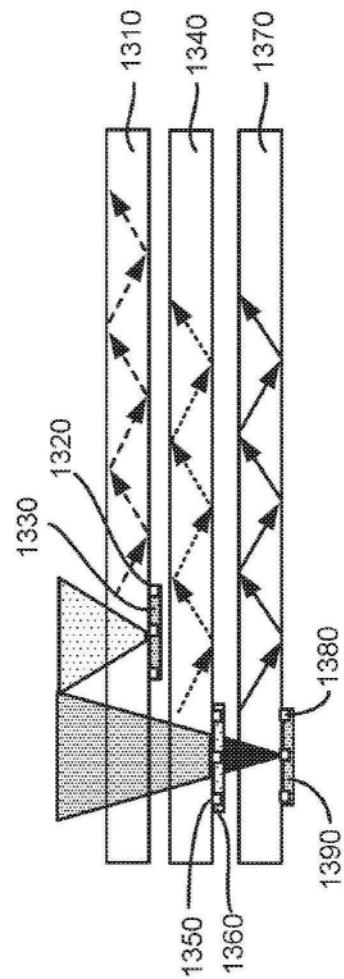


图13B

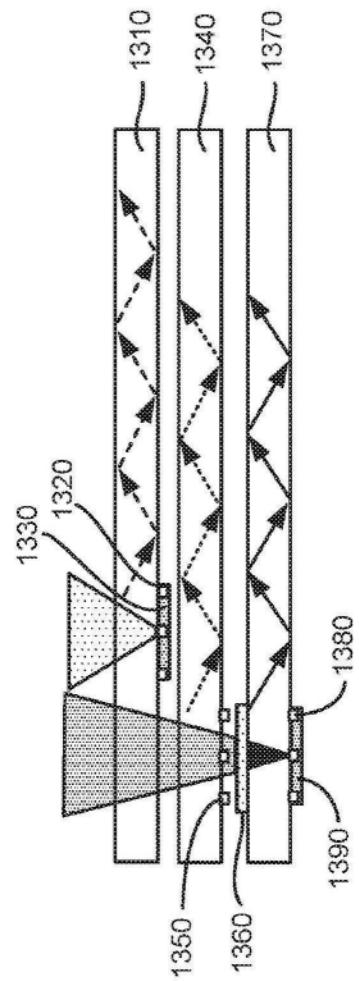


图13C

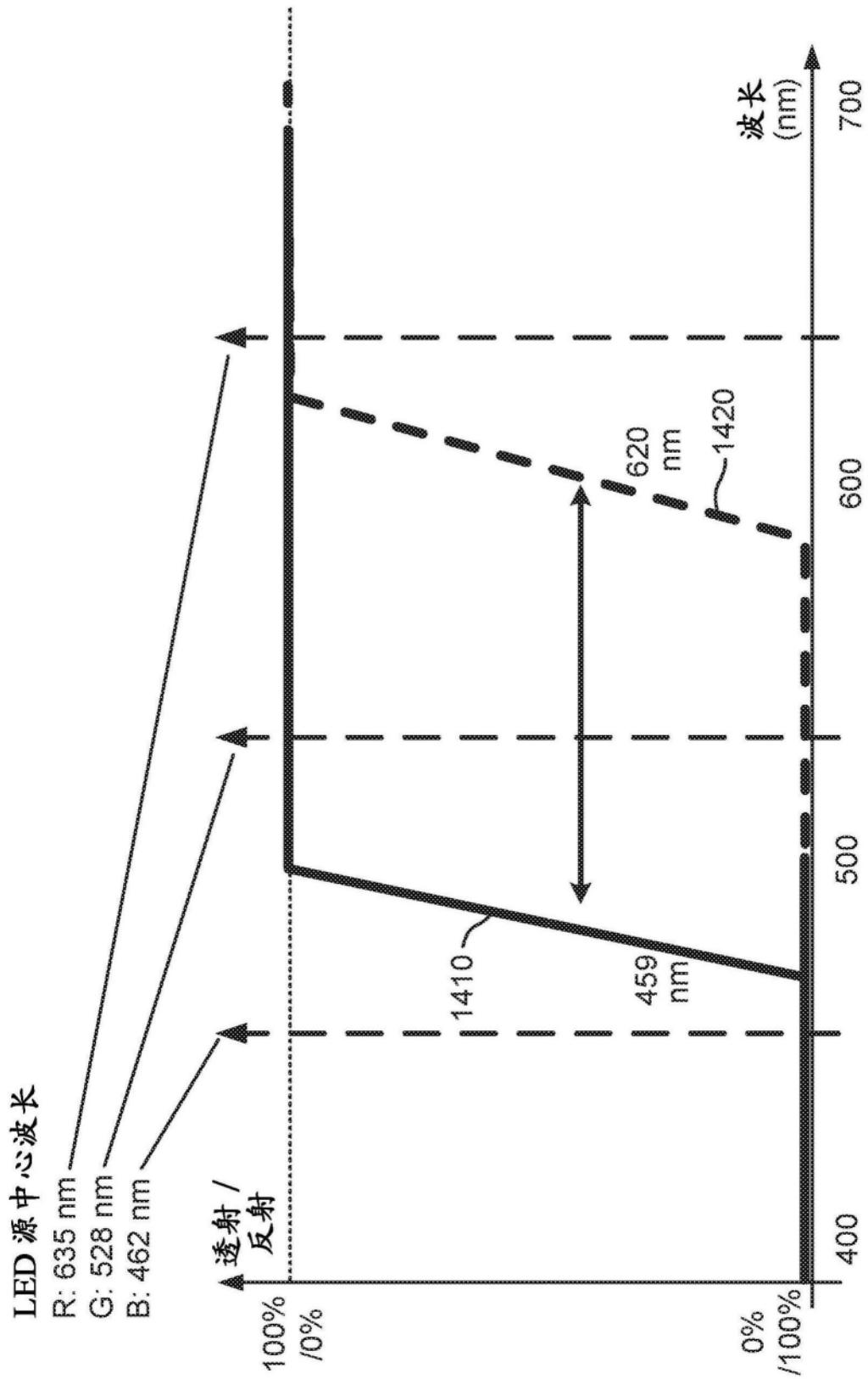


图14